



EP/03/50342

REC'D PCT/PTO 01 FEB 2005

SCHWEIZERISCHE EidGENOSSENSCHAFT
CONFÉDÉRATION SUISSE
SWISS CONFEDERATION

REC'D 31 OCT 2003
WIPO PCT

Bescheinigung

Die beiliegenden Akten stimmen überein mit den ursprünglichen Unterlagen der auf den nächsten Seiten bezeichneten, beim unterzeichneten Amt als Anmeldeamt im Sinne von Art. 10 des Vertrages über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens (PCT) eingegangenen Patentanmeldung.

Attestation

Les documents ci-joints sont conformes aux pièces originales relative à la demande de brevet spécifiée aux pages suivantes, déposées auprès de l'Office soussigné, en tant qu'Office récepteur au sens de l'article 10 du Traité de coopération en matière de brevets (PCT).

Confirmation

It is hereby confirmed that the attached documents are corresponding with the original pages of the international application, as identified on the following pages, filed under Article 10 of the Patent Cooperation Treaty (PCT) at the receiving office named below.

Bern, 22. Oktober 2003

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum
Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle
Swiss Federal Intellectual Property Institute

Patentverfahren
Administration des brevets
Patent Administration


Rolf Hofstetter

Anmeldeamtsexemplar

[17] 1/4*

P217WO

PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG) - gedruckt am 01.08.2002 05:38:13 PM

*
Ro

0	Vom Anmeldeamt auszufüllen	
0-1	Internationales Aktenzeichen.	PCT/CH 02 / 00428
0-2	Internationales Anmeldedatum	01. Aug. 2002 (01.08.02)
0-3	Name des Anmeldeamts und "PCT International Application"	RO/CH - Internationale Anmeldung PCT
0-4	Formular - PCT/RO/101 PCT-Antrag	
0-4-1	erstellt durch Benutzung von	PCT-EASY Version 2.92 (aktualisiert 01.06.2002)
0-5	Antragsersuchen Der Unterzeichnete beantragt, daß die vorliegende internationale Anmeldung nach dem Vertrag über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens behandelt wird	
0-6	(Vom Anmelder gewähltes) Anmeldeamt	Eidgenössisches Inst. für Geistiges Eigentum (Schweiz) (RO/CH)
0-7	Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts	P217WO
I	Bezeichnung der Erfindung	MAGNETFELDSENSOR UND VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES MAGNETFELDSENSORS
II	Anmelder	
II-1	Diese Person ist	nur Anmelder
II-2	Anmelder für	Alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US
II-4	Name	SENTRON AG
II-5	Anschrift:	Baarerstr. 73 CH-6300 Zug Schweiz
II-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	CH
II-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	CH
II-8	Telefonnr.	++41 41 711 21 70
II-9	Telefaxnr.	++41 41 711 21 88
III-1	Anmelder und/oder Erfinder	
III-1-1	Diese Person ist	Anmelder und Erfinder
III-1-2	Anmelder für	Nur US
III-1-4	Name (FAMILIENNAME, Vorname)	POPOVIC, Radivoje
III-1-5	Anschrift:	Chemin de Champagne 21 CH-1025 St-Sulpice Schweiz
III-1-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	CH
III-1-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	CH

PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG) - gedruckt am 01.08.2002 05:38:13 PM

III-2	Anmelder und/oder Erfinder	
III-2-1	Diese Person ist	
III-2-2	Anmelder für	
III-2-4	Name (FAMILIENNAME, Vorname)	
III-2-5	Anschrift:	
III-2-6	Staatsangehörigkeit (Staat)	
III-2-7	Sitz/Wohnsitz (Staat)	
IV-1	Anwalt oder gemeinsamer Vertreter; oder besondere Zustellanschrift Die unten bezeichnete Person ist/wird hiermit bestellt, um den (die) Anmelder vor den Internationalen Behörden zu vertreten, und zwar als:	
IV-1-1	Name (FAMILIENNAME, Vorname)	
IV-1-2	Anschrift:	
IV-1-3	Telefonnr.	
IV-1-4	Telefaxnr.	
IV-1-5	e-mail	
V	Bestimmung von Staaten	
V-1	Regionales Patent (andere Schutzrechtsarten oder Verfahren sind ggf. in Klammern nach der (den) betreffenden Bestimmung(en) angegeben)	

[37] 3/4 *

P217WO

PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG) - gedruckt am 01.08.2002 05:38:13 PM

* Ro

V-2	Nationales Patent (andere Schutzrechtsarten oder Verfahren sind ggf. in Klammern nach der (den) betreffenden Bestimmung(en) angegeben)	AE AG AL AM AT AU AZ BA BB BG BR BY BZ CA CH&LI CN CO CR CU CZ DE DK DM DZ EC EE ES FI GB GD GE GH GM HR HU ID IL IN IS JP KE KG KP KR KZ LC LK LR LS LT LU LV MA MD MG MN MW MX MZ NO NZ OM PH PL PT RO RU SD SE SG SI SK SL TJ TM TN TR TT TZ UA UG US UZ VC VN YU ZA ZM ZW
V-5	Erklärung bzgl. vorsorglicher Bestimmungen Zusätzlich zu den unter Punkten V-1, V-2 und V-3 vorgenommenen Bestimmungen nimmt der Anmelder nach Regel 4.9 Absatz b auch alle anderen nach dem PCT zulässigen Bestimmungen vor mit Ausnahme der nachstehend unter Punkt V-6 angegebenen Staaten. Der Anmelder erklärt, daß diese zusätzlichen Bestimmungen unter dem Vorbehalt einer Bestätigung stehen und jede zusätzliche Bestimmung, die vor Ablauf von 15 Monaten ab dem Prioritätsdatum nicht bestätigt wurde, nach Ablauf dieser Frist als vom Anmelder zurückgenommen gilt.	
V-6	Staaten, die von der Erklärung über vorsorgliche Bestimmungen ausgenommen werden	KEINE
VI	Prioritätsanspruch	KEINE
VII-1	Gewählte Internationale Recherchenbehörde	Europäisches Patentamt (EPA) (ISA/EP)
VIII	Erklärungen	Anzahl der Erklärungen
VIII-1	Erklärung hinsichtlich der Identität des Erfinders	—
VIII-2	Erklärung hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, zum Zeitpunkt des internationalen Anmeldedatums, ein Patent zu beantragen und zu erhalten	—
VIII-3	Erklärung hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, zum Zeitpunkt des internationalen Anmeldedatums, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen	—
VIII-4	Erfindererklärung (nur im Hinblick auf die Bestimmung der Vereinigten Staaten von Amerika)	1
VIII-5	Erklärung hinsichtlich unschädlicher Offenbarungen oder Ausnahmen von der Neuheitsschädlichkeit	—

[77] 4/4*

P217WO

*
R0

PCT-ANTRAG

Original (für EINREICHUNG) - gedruckt am 01.08.2002 05:38:13 PM

IX	Kontrollliste	Anzahl der Blätter	Elektronische Datei(en) beigefügt
IX-1	Antrag (inklusive Erklärungsblätter)	7 * 4	-
IX-2	Beschreibung	11	-
IX-3	Ansprüche	2	-
IX-4	Zusammenfassung	1	EZABST00.TXT
IX-5	Zeichnung(en)	4	-
IX-7	INSGESAMT	25122*	
IX-8	Beigefügte Unterlagen	Unterlage(n) in Papierform beigefügt	Elektronische Datei(en) beigefügt
IX-9	Blatt für die Gebührenberechnung	✓	-
IX-17	Original einer gesonderten Vollmacht		-
IX-17	PCT-EASY-Diskette	-	Diskette
IX-19	Nr. der Abb. der Zeichn., die mit der Zusammenf. veröffentlicht werden soll	8	
IX-20	Sprache der int. Anmeldung	Deutsch	
X-1	Unterschrift des Anmelders, des Anwalts oder des Gemeinsamen Vertreters	<i>U. Falk</i>	
X-1-1	Name (FAMILIENNAME, Vorname)	FALK, Urs	

VOM ANMELDEAMT AUSZUFÜLLEN

10-1	Datum des tatsächlichen Eingangs dieser internationalen Anmeldung	01. Aug. 2002 (01.08.02)
10-2	Zeichnung(en):	
10-2-1	Eingegangen	
10-2-2	Nicht eingegangen	
10-3	Geändertes Eingangsdatum aufgrund nachträglich, jedoch fristgerecht eingeg. Unterlage(n) oder Zeichnung(en) zur Vervollständigung dieser Int. Anmeldung	
10-4	Datum des fristgerechten Eingangs der Berichtigung nach PCT Artikel 11(2)	
10-5	Internationale Recherchenbehörde	ISA/EP
10-6	Übermittlung des Recherchenexemplars bis zur Zahlung der Recherchengebühr aufgeschoben	X

VOM INTERNATIONALEN BÜRO AUSZUFÜLLEN

11-1	Datum des Eingangs des Aktenexemplars beim Internationalen Büro	
------	---	--

Magnetfeldsensor und Verfahren zum Betrieb eines Magnetfeldsensors

Die Erfindung betrifft einen Magnetfeldsensor und ein Verfahren zum Betrieb eines Magnetfeldsensors der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art.

Solche Magnetfeldsensoren eignen sich für die Messung von Magnetfeldern, deren Stärke nur wenige nT bis mT beträgt, beispielsweise als Kompass zur Messung der Richtung des Magnetfeldes der Erde.

Ein Magnetfeldsensor der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art ist aus der EP 1 182 461 bekannt. Der Magnetfeldsensor eignet sich für die Bestimmung der Richtung eines zweidimensionalen Magnetfeldes. Der Magnetfeldsensor umfasst einen Magnetfeldkonzentrator mit einer flächigen Form und zwei Sensoren, die mindestens ein Hallelement umfassen, wobei die Hallelemente im Bereich des Randes des Magnetfeldkonzentrators angeordnet sind. Der erste Sensor misst eine erste Komponente des Magnetfeldes und der zweite Sensor misst eine zweite Komponente des Magnetfeldes. Aus den Signalen der beiden Sensoren lässt sich somit die Richtung des Magnetfeldes bestimmen.

Aus der EP 1 052 519 ist ein weiterer Magnetfeldsensor für die Bestimmung der Richtung eines Magnetfeldes bekannt. Der Magnetfeldsensor umfasst einen ferromagnetischen Kern in der Form eines Kreuzes, eine Erregerspule, um den ferromagnetischen Kern periodisch in Sättigung zu bringen, und Auslesespulen. Der Magnetfeldsensor wird als Fluxgate Sensor betrieben. Nachteilig bei einem solchen Sensor ist, dass für die magnetische Sättigung des ferromagnetischen Kerns ein vergleichsweise hoher Strom erforderlich ist. Ein solcher Magnetfeldsensor eignet sich deshalb nicht für Anwendungen mit Batteriebetrieb.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Magnetfeldsensor zu entwickeln, mit dem sich Magnetfelder, deren Stärke nur wenige nT bis mT beträgt, auch bei elektrischer Speisung durch eine Batterie messen lassen, ohne dass die Batterie häufig gewechselt werden muss.

Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss gelöst durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 5.

Ein erfindungsgemässer Magnetfeldsensor für die Messung von wenigstens einer Komponente eines Magnetfeldes umfasst einen ferromagnetischen Kern, der als Magnetfeldkonzentrator dient, eine Erregerspule und einen Auslesesensor. Der Auslesesensor umfasst zwei in der Nähe des äusseren Randes des ferromagnetischen Kerns angeordnete Sensoren und misst die wenigstens eine Komponente des Magnetfeldes. Der ferromagnetische Kern ist ringsförmig oder scheibenförmig. Beim Betrieb des Magnetfeldsensors wird die Erregerspule temporär mit einem Strom beaufschlagt, um den ferromagnetischen Kern in einen Zustand vorbestimmter Magnetisierung zu bringen, in dem die Magnetisierung des ferromagnetischen Kerns im Auslesesensor kein Signal erzeugt. Als Zustand vorbestimmter Magnetisierung gilt auch der entmagnetisierte Zustand des ferromagnetischen Kerns.

Dieser Vorgang, den ferromagnetischen Kern in einen Zustand vorbestimmter Magnetisierung zu bringen, wird bevorzugt vor einer eigentlichen Messung des externen Magnetfeldes durchgeführt. Er kann aber auch periodisch oder zu beliebigen anderen Zeitpunkten durchgeführt werden.

Der Magnetfeldsensor kann beispielsweise verwendet werden, um die Stärke eines schwachen Magnetfeldes zu messen, dessen Richtung nicht ändert. Der Magnetfeldsensor kann auch als Strom- oder Energiesensor verwendet werden, wobei er die Stärke eines von einem stromdurchflossenen Leiter erzeugten Magnetfeldes misst. Der Sensor kann zudem mit einem zweiten Auslesesensor versehen werden, um eine zweite Komponente eines externen Magnetfeldes zu messen. Wenn zwei Komponenten des externen Magnetfeldes gemessen werden, dann kann daraus auch dessen Richtung bestimmt werden. Der Magnetfeldsensor kann somit auch als Kompass verwendet werden.

Nachfolgend werden vier Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 in Aufsicht einen Magnetfeldsensor für die Messung von zwei Komponenten eines externen Magnetfeldes, mit einem ferromagnetischen Kern,
- Fig. 2 den Magnetfeldsensor und Feldlinien im Querschnitt,
- Fig. 3, 4 weitere Magnetfeldsensoren,
- Fig. 5, 6 den Verlauf magnetischer Feldlinien im ferromagnetischen Kern, und
- Fig. 7 einen ringförmigen ferromagnetischen Kern, der in einer bestimmten Art magnetisiert ist, und
- Fig. 8 eine elektronische Schaltung, die sich für die Entmagnetisierung des ferromagnetischen Kerns eignet.

Ausführungsbeispiel 1

Die Fig. 1 zeigt in Aufsicht einen als Halbleiterchip 1 ausgebildeten Magnetfeldsensor für die Messung von zwei Komponenten eines externen Magnetfeldes. Als Bezugssystem dient ein kartesisches x,y,z Koordinatensystem, dessen Ursprung in der Figur aus Gründen der zeichnerischen Klarheit ausserhalb des Magnetfeldsensors angeordnet ist, wobei die z-Richtung senkrecht zur Zeichenebene verläuft. Der Magnetfeldsensor umfasst eine elektronische Schaltung 2, eine mit einem Strom beaufschlagbare Erregerspule 3 mit beispielsweise vier Windungen, einen ringförmigen ferromagnetischen Kern 4 und zwei Auslesesensoren 5, 6. Der ferromagnetische Kern 4 erstreckt sich in einer Ebene und definiert somit die Lage der xy-Ebene. Der Auslesesensor 5 dient der Erfassung der x-Komponente des Magnetfeldes, der Auslesesensor 6 dient der Erfassung der y-Komponente des Magnetfeldes. Die Auslesesensoren 5, 6 bestehen je aus zwei örtlich getrennten, aber elektrisch verbundenen Sensoren. Der Magnetfeldsensor ist in einer Technologie hergestellt, bei der zunächst die elektronische Schaltung 2, Teile der Erregerspule 3 und die Auslesesensoren 5, 6 in einer Standard CMOS Technologie gefertigt und anschliessend der ferromagnetische Kern 4 in einem sogenannten Post-Prozess aufgebracht wurde. Dabei wird ein Band aus amorphem ferromagnetischem Material auf den Wafer mit den Halbleiterschaltungen aufgeklebt und

mittels Photolithografie und chemischem Ätzen strukturiert. Nach dem Zersägen des Wafers in die einzelnen Halbleiterchips werden die Windungen der Erregerspule 3 bei der Montage des Halbleiterchips auf ein Substrat entweder durch Drahtboden (wie gezeigt) oder mittels der Flipchip Technologie vervollständigt. Die elektronische Schaltung 2 dient der Erzeugung des die Erregerspule 3 durchfliessenden Stromes und der Auswertung der von den Auslesesensoren 5, 6 gelieferten Signale.

Bei dem in der Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Erregerspule 3 vier Windungen auf, die teilweise aus Leiterbahnen 7 und teilweise aus Bonddrähten 8 besteht. Die Leiterbahnen 7 verlaufen unterhalb, die Bonddrähte 8 verlaufen oberhalb des ferromagnetischen Kerns 4. Die Bonddrähte 8 verbinden jeweils ein Ende einer Leiterbahn 7 mit einem Ende einer anderen Leiterbahn 7. Eine Schaltung 9 dient zur temporären Beaufschlagung der Erregerspule 3 mit einem Strom $I(t)$, um den ferromagnetischen Kern 4 in einen Zustand vorbestimmter Magnetisierung zu bringen. Die Variable t bezeichnet die Zeit.

Die elektronische Schaltung 2 wird von einer nicht dargestellten Energiequelle, insbesondere einer Batterie, gespeist. Die elektronische Schaltung 2 dient zum Betrieb der Schaltung 9, der Auslesesensoren 5, 6 und zur Auswertung der von den Auslesesensoren 5, 6 gelieferten Signale.

Als Material für den ferromagnetischen Kern 4 dient beispielsweise das unter der Bezeichnung VAC 6025Z erhältliche Band aus amorphem Metall. Dieses Material hat eine Koerzitivfeldstärke $H_C = 3 \text{ mA/cm}$. Um den ferromagnetischen Kern 4 magnetisch in Sättigung zu bringen, sollte der durch die Erregerspule 3 fliessende Strom I ein Magnetfeld H_S erzeugen, das etwa 20 mal grösser als die Koerzitivfeldstärke H_C ist. Wenn der äussere Durchmesser D des ringförmigen ferromagnetischen Kerns 4 $D = 1 \text{ mm}$ und die Zahl n der Windungen der Erregerspule 3 $n = 4$ beträgt, dann erhält man für den Strom gemäss der Gleichung

$$I = 20 * H_C * D * \pi / n \quad (1)$$

$I \approx 4.5 \text{ mA}$. Da der ferromagnetische Kern 4 keinen Luftspalt hat, lässt er sich bereits durch ein kleines Magnetfeld und somit durch einen geringen Strom I magnetisch sättigen.

Der Magnetfeldsensor weist als Auslesesensoren 5 und 6 vier elektrisch paarweise gekoppelte, sogenannte horizontale Hallelemente 10, 11, 12 und 13 auf, die auf ein Magnetfeld empfindlich sind, das senkrecht zur Oberfläche des Halbleiterchips 1, d.h. in z-Richtung verläuft. Die Hallelemente 10 und 12 sind auf der x-Achse des kartesischen Koordinatensystems angeordnet und bilden den ersten Auslesesensor 5, die Hallelemente 11 und 13 sind auf der y-Achse des kartesischen Koordinatensystems angeordnet und bilden den zweiten Auslesesensor 6. Die horizontalen Hallelemente 10 bis 13 sind jeweils unterhalb des ferromagnetischen Kerns 4 angeordnet und zwar in der Nähe seines äusseren Randes. Da die relative Permeabilität μ_r des ferromagnetischen Kerns 4 sehr gross gegenüber der relativen Permeabilität seiner Umgebung ist, treffen die Feldlinien des externen, zu messenden

Magnetfeldes annähernd senkrecht auf die Oberfläche des ferromagnetischen Kerns 4 auf bzw. verlassen diesen unter fast senkrechtem Winkel. Die Feldkonzentration ist am grössten im Bereich des äusseren Randes des ferromagnetischen Kerns 4, wo sich die Hallelemente 10 bis 13 befinden. Die Ausgangssignale der beiden Hallelemente 10 und 12 hängen von der Stärke der x-Komponente des externen Magnetfeldes ab, die Ausgangssignale der beiden Hallelemente 11 und 13 von der Stärke der y-Komponente des externen Magnetfeldes.

Die Fig. 2 zeigt die Feldlinien 14 des externen Magnetfeldes, wenn der ferromagnetische Kern 4 durch das von dem durch die Erregerspule 3 (Fig. 1) fliessenden Strom erzeugte Magnetfeld nicht gesättigt ist. Die Feldlinien am Ort der beiden Hallelemente 10 und 12 zeigen in unterschiedliche z-Richtung, da das Magnetfeld am Ort des einen Hallelementes, beispielsweise des Hallelementes 10, in den ferromagnetischen Kern 4 eintritt und am Ort des anderen Hallelementes 12 diesen wieder verlässt. Die beiden Hallelemente 10 und 12 sind elektrisch so zum Auslesesensor 5 (Fig. 1) zusammengeschaltet, dass sich die durch die x-Komponente des externen Magnetfeldes in den Hallelementen 10 und 12 erzeugten Hallspannungen addieren. Eine allfällige vorhandene z-Komponente des externen Magnetfeldes zeigt hingegen bei beiden Hallelementen 10 und 12 in die gleiche z-Richtung und bewirkt deshalb im Auslesesensor 5 kein Ausgangssignal.

Die Erregerspule 3 (Fig. 1) dient dazu, den ferromagnetischen Kern 4 zu gewissen Zeiten in einen Zustand vorbestimmter Magnetisierung zu bringen. Dabei geht es grundsätzlich darum, den ferromagnetischen Kern 4 so zu magnetisieren, dass seine Magnetisierung in den Auslesesensoren 5, 6 kein Signal erzeugt. Eine durch äussere Einwirkung entstandene, zufällige Magnetisierung des ferromagnetischen Kerns 4, die in den Auslesesensoren 5, 6 ein unerwünschtes Signal erzeugt, wird dabei neutralisiert.

Bei einer ersten Methode wird der ferromagnetische Kern 4 zwar magnetisiert, aber so, dass das durch seine Magnetisierung erzeugte Magnetfeld in den Auslesesensoren 5, 6 kein Signal erzeugt. D.h. allfällige Komponenten dieses Magnetfeldes verlaufen entweder orthogonal zur Empfindlichkeitsrichtung der Hallelemente 10 bis 13 oder sie verlaufen in den paarweise zu den Auslesesensoren 5, 6 geschalteten Hallelementen 10 und 12 bzw. 11 und 13 in der gleichen z-Richtung, so dass sich die von ihnen erzeugten Hallspannungen kompensieren.

Bei einer zweiten Methode wird der ferromagnetische Kern 4 entmagnetisiert. Diese Methoden werden später näher erläutert.

Im folgenden werden nun weitere Massnahmen beschrieben, deren Anwendung zu einer höheren Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors und/oder zu einem geringeren Strom- bzw. Energieverbrauch führt.

Wenn die Zahl der Windungen der Erregerspule 3 auf n erhöht wird, dann kann bei gleichem Stromverbrauch entweder der durch die Erregerspule 3 fliessende Strom um den Faktor n verkleinert oder der Durchmesser D des ringförmigen ferromagnetischen Kerns 4 um den Faktor n vergrössert werden. Eine Vergrösserung des Durchmessers D bewirkt eine Verstärkung der Flusskonzentration, erhöht aber auch den Platzbedarf und damit die Abmessungen des Halbleiterchips 1. Im Hinblick auf das Ziel einer möglichst grossen Miniaturisierung des Magnetfeldsensors resultieren dann optimale Verhältnisse, wenn der Durchmesser D des ferromagnetischen Kerns 4 den Abmessungen des Halbleiterchips 1 angepasst wird, wie sie sich aus dem Platzbedarf für die elektronische Schaltung 2 ergeben, und die Zahl n der Windungen der Erregerspule 3 der Grösse des ferromagnetischen Kerns 4 angepasst wird.

Ausführungsbeispiel 2

Die Fig. 3 zeigt in Aufsicht einen weiteren Magnetfeldsensor mit einem ringförmigen ferromagnetischen Kern 4, bei dem die Erregerspule 3 als Flachspule 15 mit einer spiralförmig verlaufenden Leiterbahn 16 ausgebildet ist, die unterhalb des ferromagnetischen Kerns 4 angeordnet ist. Die Leiterbahn 16 verläuft zwar spiralförmig, aber dennoch annähernd konzentrisch zum ferromagnetischen Kern 4.

Ein erstes Ende 17 der Leiterbahn 16 befindet sich naturgemäß innerhalb, ein zweites Ende 18 der Leiterbahn 16 ausserhalb des ringförmigen ferromagnetischen Kerns 4. Eine in einer zweiten Metallisierungsschicht angeordnete Leiterbahn 19 verbindet das erste Ende 17 mit einem ausserhalb des ringförmigen ferromagnetischen Kerns 4 angeordneten Anschluss 20. (Der ebenfalls eingezeichnete Bonddraht 8 ist beim zweiten Ausführungsbeispiel nicht vorhanden, ist aber wichtig beim dritten Ausführungsbeispiel). Die Leiterbahn 19 befindet sich somit auf der gleichen Seite des ferromagnetischen Kerns 4 wie die Flachspule 15. Obwohl die Leiterbahn 16 der Flachspule 15 spiralförmig verläuft, tragen die in radialer Richtung verlaufenden Anteile der Leiterbahn 16 nicht zu dem durch die Flachspule 15 erzeugten Magnetfeld bei, da der in der Leiterbahn 19 fliessende Strom in entgegengesetzter Richtung zu dem in radialer Richtung durch die Flachspule 15 fliessenden Strom fliessst und diesen somit kompensiert. Das durch die Flachspule 15 erzeugte Magnetfeld entspricht somit einem durch konzentrisch angeordnete Leiterbahnen erzeugten Magnetfeld.

Ausführungsbeispiel 3

Dieses Beispiel entspricht weitgehend dem zweiten Ausführungsbeispiel, aber anstelle der Leiterbahn 19 ist der Bonddraht 8 vorhanden, der das erste Ende 17 der Flachspule 15 mit einem ausserhalb des ringförmigen ferromagnetischen Kerns 4 angeordneten Anschluss 20 verbindet. Da die Flachspule 15 und der Bonddraht 8 den ferromagnetischen Kern 4 auf verschiedenen Seiten queren, nämlich die Flachspule 15 unten und der Bonddraht 8 oben, ergibt sich eine Zusatzspule mit einer einzigen Wicklung, die den Ring des ferromagnetischen Kerns 4 umschliesst und wie eine Erregerspule gemäss dem ersten Ausführungsbeispiel wirkt. Im Gegensatz zum zweiten Ausführungsbeispiel kompensiert der durch den Bonddraht 8 fliessende Strom den in radialer Richtung durch die Flachspule 15 fliessenden

Strom nicht. Die Kombination aus Flachspule 15 und Bonddraht 8 stellt eine Erregerspule 3 dar, mit der sich der ferromagnetische Kern 4 auf sehr effiziente Weise in einen Zustand vorbestimmter Magnetisierung bringen lässt, in dem die Magnetisierung des Kerns 4 in den Auslesesensoren 5, 6 kein Signal erzeugt.

Ausführungsbeispiel 4

Die Fig. 4 zeigt einen Magnetfeldsensor, bei dem der ferromagnetische Kern 4 scheibenförmig ist. Der ferromagnetische Kern 4 kann in der Mitte auch ein Loch aufweisen. Der Magnetfeldsensor umfasst eine erste Flachspule 21 zur Erzeugung eines Magnetfeldes im ferromagnetischen Kern 4, das in Richtung der x-Achse zeigt. Die erste Flachspule 21 besteht aus rechteckförmig verlaufenden Leiterbahnen 22. Die Leiterbahnen 22 sind im Bereich des ferromagnetischen Kerns 4 parallel zueinander ausgerichtet und der Strom fliesst in allen Leiterbahnen 22 im Bereich des ferromagnetischen Kerns 4 in die gleiche Richtung, nämlich die y-Richtung, so dass bei Beaufschlagung der ersten Flachspule 21 mit einem Strom im ferromagnetischen Kern 4 ein Magnetfeld erzeugt wird, das in die x-Richtung zeigt und den ferromagnetischen Kern 4 gleichmässig in x-Richtung magnetisiert. Dieses Magnetfeld ist durch Pfeile 24 dargestellt.

Der Magnetfeldsensor umfasst eine zweite Flachspule 23 zur Erzeugung eines Magnetfeldes im ferromagnetischen Kern 4, das in Richtung der y-Achse zeigt. Die zweite Flachspule 23, von der aus Gründen der zeichnerischen Klarheit nur der Umriss eingezeichnet ist, ist unterhalb der ersten Flachspule 21 in einer anderen Metallisierungsschicht angeordnet und bezüglich der ersten Flachspule 21 um 90° gedreht, so dass sie bei Beaufschlagung mit einem Strom im ferromagnetischen Kern 4 ein Magnetfeld erzeugt, das in die y-Richtung zeigt und den ferromagnetischen Kern 4 gleichmässig in y-Richtung magnetisiert.

Wenn die erste Flachspule 21 mit einem Strom $I_1(t)$ und gleichzeitig die zweite Flachspule 23 mit einem Strom $I_2(t)$ beaufschlagt werden (der Parameter t bezeichnet die Zeit), dann können der zeitliche Verlauf von Richtung und Stärke des Magnetfeldes und damit auch der Magnetisierung $M(t)$ im ferromagnetischen Kern 4 gezielt gesteuert werden.

Im Folgenden werden für die vier Ausführungsbeispiele mindestens eine erste Methode beschrieben, um den ferromagnetischen Kern 4 in einen Zustand vorbestimmter, nicht verschwindender Magnetisierung zu bringen, und mindestens eine zweite Methode, um den ferromagnetischen Kern 4 zu entmagnetisieren. Die Methoden werden vorzugsweise durchgeführt, bevor mit dem Magnetfeldsensor eine Messung der x- und y- Komponenten des externen Magnetfeldes durchgeführt wird, es sei denn, das Magnetfeld, das während der Durchführung der Methoden durch den durch die Erregerspule 3 fliessenden Strom temporär erzeugt wird, erzeuge in den Auslesesensoren 5, 6 kein Signal.

Die folgenden Methoden 1.1 und 1.2 betreffen das erste Ausführungsbeispiel und ihre Wirkungen werden für das erste Ausführungsbeispiel beschrieben, wobei sich die Begriffe und Bezugszeichen auf

die dem ersten Ausführungsbeispiel zugeordneten Figuren beziehen.

Methode 1.1

Bei dieser ersten Methode wird die Erregerspule 3 während einer vorbestimmten Zeitdauer mit einem Strom $I(t)$ beaufschlagt, um den ferromagnetischen Kern 4 gleichmässig zu magnetisieren. Das von dem durch die Erregerspule 3 fliessenden Strom $I(t)$ erzeugte Magnetfeld $B(t)$ verläuft entlang konzentrischer, geschlossener Linien im ferromagnetischen Kern 4. Dieses Magnetfeld wird als zirkuläres Magnetfeld bezeichnet. Der Strom $I(t)$ ist z.B. ein Gleichstrom, dessen Stärke zunimmt und dessen Stärke anschliessend wieder auf Null reduziert wird. Auf diese Weise wird der ferromagnetische Kern 4 magnetisiert, wobei seine Magnetisierung der Remanenz des ferromagnetischen Materials entspricht. Damit eine durch äussere Einwirkung entstandene Magnetisierung vollständig neutralisiert werden kann, wird der Gleichstrom $I(t)$ vorzugsweise soweit erhöht, bis der ferromagnetische Kern 4 magnetisch in Sättigung oder annähernd in Sättigung ist, und anschliessend wieder auf Null reduziert. Die ringförmige Struktur des ferromagnetischen Kerns 4 des ersten Ausführungsbeispiels bietet den Vorteil, dass sich die Feldlinien des durch seine Magnetisierung erzeugten Magnetfeldes innerhalb des ferromagnetischen Kerns 4 schliessen. Das durch die Magnetisierung ausserhalb des ferromagnetischen Kerns 4 erzeugte Magnetfeld verläuft orthogonal zur Empfindlichkeitsrichtung der Hallelemente 10 - 13 und erzeugt somit keine Hallspannung.

Methode 2.1

Bei dieser zweiten Methode wird die Erregerspule 3 mit einem Wechselstrom mit abklingender Amplitude beaufschlagt, um den ringförmigen ferromagnetischen Kern 4 zu entmagnetisieren. Der ferromagnetische Kern 4 wird dabei laufend ummagnetisiert, bis er sich in einem Zustand verschwindender Magnetisierung befindet. Die Amplitude des Wechselstromes zu Beginn des Entmagnetisierungsvorganges ist so gross gewählt, dass eine durch äussere Einwirkung entstandene, zufällige Magnetisierung des ferromagnetischen Kerns 4 neutralisiert wird. Vorzugsweise ist die Amplitude des Wechselstromes zu Beginn des Entmagnetisierungsvorganges so gross, dass der ferromagnetische Kern 4 zunächst magnetisch annähernd gesättigt und dann mit dem Abklingen der Amplitude entmagnetisiert wird.

Die Methoden 1.2, 2.2 und 3.2 betreffen das zweite Ausführungsbeispiel und ihre Wirkungen werden für das zweite Ausführungsbeispiel beschrieben, wobei sich die Begriffe und Bezugszeichen auf die dem zweiten Ausführungsbeispiel zugeordneten Figuren beziehen.

Methode 1.2

Bei dieser Methode wird die Erregerspule 3 für eine vorbestimmte Zeitdauer mit einem Gleichstrom $I(t)$ beaufschlagt. Der in der Flachspule 15 fliessende Gleichstrom $I(t)$ bewirkt eine Magnetisierung des ferromagnetischen Kerns 4 in radialer Richtung. Der Verlauf der Feldlinien der Magnetisierung ist in der

Fig. 5, die einen Schnitt in der z-Ebene darstellt, mit Pfeilen 24 dargestellt. Mit der Flachspule 15 kann der ferromagnetische Kern 4 auf effiziente Weise magnetisiert werden. Bei dieser Magnetisierung schliessen sich die Feldlinien nicht innerhalb des ferromagnetischen Kerns 4. Die radiale Magnetisierung erzeugt ausserhalb des ferromagnetischen Kerns 4 ein nicht verschwindendes Magnetfeld. Dieses Magnetfeld ist aber symmetrisch zur Symmetriearchse des ferromagnetischen Kerns 4. Die Feldlinien dieses Magnetfeldes verlaufen bei allen Hallelementen 10 - 13 in der gleichen Richtung und erzeugen somit in allen Hallelementen 10 - 13 die gleiche Hallspannung. Weil die Auslesesensoren 5, 6 aus je 2 gegensinnig gekoppelten Hallelementen bestehen, liefern diese Hallspannungen keinen Beitrag zu den Ausgangssignalen der Auslesesensoren 5, 6.

Methode 2.2

Bei dieser Methode wird die Erregerspule 3 mit einem Wechselstrom beaufschlagt. Die Flachspule 15 und der elektrisch leitende ferromagnetische Kern 4 wirken wie ein Transformator, wobei die Flachspule 15 die Primärwicklung mit N Windungen und der Transformator die Sekundärwicklung mit einer einzigen Windung bildet. Bei idealer Kopplung ist daher der im ferromagnetischen Kern 4 induzierte Wechselstrom N mal grösser als der durch die Flachspule 15 fliessende Wechselstrom. Der im ferromagnetischen Kern 4 induzierte Wechselstrom bewirkt eine wechselnde Magnetisierung des Kerns 4, deren Feldlinien den in der Fig. 6 dargestellten Verlauf nehmen. Diese Feldlinien schliessen sich innerhalb des ferromagnetischen Kerns 4.

Methode 3.2

Bei dieser Methode wird die Erregerspule 3 mit einem Wechselstrom $I(t)$ mit abnehmender Amplitude beaufschlagt, um den ferromagnetischen Kern 4 zu entmagnetisieren (wie bei der Methode 2.1).

Die Methoden 1.3, 2.3 und 3.3 betreffen das dritte Ausführungsbeispiel und ihre Wirkungen werden für das dritte Ausführungsbeispiel beschrieben, wobei sich die Begriffe und Bezugszeichen auf die dem dritten Ausführungsbeispiel zugeordneten Figuren beziehen. Der durch die Zusatzspule fliessende Strom erzeugt im ferromagnetischen Kern 4 ein zirkuläres Magnetfeld, das sich dem durch die Flachspule 15 gebildeten Magnetfeld überlagert. Die Wirkung, die sich daraus ergibt, hängt davon ab, ob die durch die Flachspule 15 und den Bonddraht 8 gebildete Erregerspule 3 mit einem Gleichstrom oder mit einem Wechselstrom beaufschlagt wird.

Methode 1.3

Die Erregerspule 3 wird mit einem Gleichstrom beaufschlagt (wie bei den Methoden 1.1 und 2.1). Dank der Flachspule 15 wird der ferromagnetische Kern 4 wie bei der Methode 1.2 des zweiten Ausführungsbeispiels auf effiziente Weise magnetisiert. Die Zusatzspule bewirkt im ferromagnetischen Kern 4 zusätzlich ein zirkuläres Magnetfeld, wie beim ersten Ausführungsbeispiel. Die resultierende Magnetisierung des ferromagnetischen Kerns 4 ist nun nicht mehr radial, sondern besitzt zusätzlich eine

tangentiale Komponente. Dieser Magnetisierungszustand ist in der Fig. 7 gezeigt. Die Fig. 7 zeigt den ferromagnetischen Kern 4 in Aufsicht. Die lokale Richtung der Magnetisierung ist durch Pfeile 24 dargestellt. Wenn der Gleichstrom abgeschaltet wird, dann dreht sich die Magnetisierung in den einzelnen magnetischen Domänen des ferromagnetischen Kerns 4 in tangentiale Richtung, so dass sich die magnetischen Feldlinien schliessen. Beim Abschalten des Gleichstroms stellt sich somit automatisch eine zirkulare Magnetisierung des ferromagnetischen Kerns 4 ein, die wie bereits früher erwähnt den Vorteil hat, dass ihr Magnetfeld in den Auslesesensoren 5, 6 kein Signal erzeugt.

Für die Zusatzspule können anstelle der einzigen durch den Bonddraht 8 realisierten Wicklung auch mehrere Wicklungen vorgesehen sein, die wie beim ersten Ausführungsbeispiel durch Leiterbahnen und Bonddrähte realisiert sind. Die Zahl der Windungen der Flachspule 15 und die Zahl der Wicklungen der Zusatzspule sind so aufeinander abzustimmen, dass die zirkulare Magnetisierung mit minimalen Energieaufwand erzielt werden kann.

Methode 2.3

Wenn die Erregerspule 3 mit einem Wechselstrom mit konstanter Amplitude beaufschlagt wird, dann richten sich die magnetischen Domänen innerhalb des ferromagnetischen Kerns 4 schraubenförmig aus. Wird der Wechselstrom ausgeschaltet, so drehen sich die magnetischen Domänen von selbst, damit sich die Feldlinien des von ihnen erzeugten Magnetfeldes schliessen können. Somit kann wie bei der Methode 1.3 eine zirkulare Magnetisierung des ferromagnetischen Kerns 4 erreicht werden.

Methode 3.3

Bei dieser Methode wird die Erregerspule 3 mit einem Wechselstrom $I(t)$ mit abnehmender Amplitude beaufschlagt, um den ferromagnetischen Kern 4 zu entmagnetisieren (wie bei der Methode 2.1).

Im Folgenden werden drei Methoden 1.4, 2.4 und 3.4 für das vierte Ausführungsbeispiel beschrieben, um den ferromagnetischen Kern 4 in einen Zustand vorbestimmter Magnetisierung zu bringen, wobei sich die Begriffe und Bezugszeichen auf die dem dritten Ausführungsbeispiel zugeordneten Figuren beziehen.

Methode 1.4

Diese Methode entspricht im wesentlichen der Methode 1.1 für das erste Ausführungsbeispiel. Die beiden Flachspulen 21 und 23 werden mit je einem Stromimpuls $I_1(t)$ bzw. $I_2(t)$ beaufschlagt, um den scheibenförmigen ferromagnetischen Kern 4 zu magnetisieren, wobei die Magnetisierung wiederum der Remanenz des ferromagnetischen Materials entspricht. Die Stromimpulse $I_1(t)$ bzw. $I_2(t)$ sind so aufeinander abzustimmen, dass das durch die beiden Flachspulen 21 und 23 erzeugte Magnetfeld und damit auch die Magnetisierung des ferromagnetischen Kerns 4 senkrecht zu dem äusseren zu messenden Magnetfeld verlaufen. Diese Methode eignet sich vor allem, wenn die Richtung des äusseren Magnetfeldes nicht ändert.

Methode 2.4

Diese Methode entspricht im wesentlichen der Methode 2.1 für das erste Ausführungsbeispiel. Die Flachspule 21 wird mit einem Wechselstrom mit abklingender Amplitude beaufschlagt, um den ferromagnetischen Kern 4 zu entmagnetisieren. Für die Entmagnetisierung des ferromagnetischen Kerns 4 genügt eine der Flachspulen 21 und 23. Somit kann bei der Anwendung dieser Methode 2.2 die Flachspule 23 entfallen.

Die nächste Methode 3.4 ist eine Methode, die während einer Messung der beiden Komponenten des externen Magnetfeldes durchgeführt wird.

Methode 3.4

Bei dieser Methode werden die beiden Flachspulen 21 und 23 mit je einem Strom $I_1(t)$ bzw. $I_2(t)$ beaufschlagt, die so aufeinander abgestimmt sind, dass im scheibenförmigen ferromagnetischen Kern 4 ein um die Symmetrieachse des ferromagnetischen Kerns 4 rotierendes Magnetfeld erzeugt wird, wobei das Magnetfeld zunächst eine vollständige Rotation um 360° im Uhrzeigersinn und dann eine vollständige Rotation um 360° im Gegenuhrzeigersinn durchläuft. Das Ausgangssignal der Auslesesensoren 5, 6 wird während dieser Zeit, wo das Magnetfeld in die eine Richtung und dann in die andere Richtung rotiert, integriert. Auf diese Weise können allfällige Hystereseeffekte des ferromagnetischen Kerns 4 eliminiert werden.

Die Fig. 8 zeigt eine elektronische Schaltung, die sich als Schaltung 9 für die Entmagnetisierung des ferromagnetischen Kerns 4 gemäß der Methoden 1.2 und 2.2 eignet. Die Schaltung 9 weist einen Kondensator 25 auf, dessen Pole über Schalter 26 und 27 entweder über einen hochohmigen Widerstand 28 mit einer Batterie 29 oder mit der Erregerspule 3 (bei den Ausführungsbeispielen 1-3) bzw. der Flachspule 21 (beim Ausführungsbeispiel 4) verbunden sind. In einer ersten Phase, der so genannten Aufladephase, wird der Kondensator 25 mit der Batterie 29 verbunden. Der Kondensator 25 wird nun von der Batterie 29 mit einem relativ kleinen Strom aufgeladen. Der Widerstand 28 ist so bemessen, dass die Aufladezeit beispielsweise eine Sekunde beträgt. Für eine Entmagnetisierung werden die Schalter 26 und 27 umgelegt, so dass sie den Kondensator 25 mit der Erregerspule 3 bzw. mit der Flachspule 21 verbinden. Der Kondensator 25 und die entsprechende Spule bilden nun einen LC-Schwingkreis. Der LC-Schwingkreis beginnt zu schwingen und der Kondensator 25 wird nun mit einer exponentiell abklingenden Schwingung entladen. Die Frequenz ω der Schwingung ist gegeben durch

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}},$$

wobei L die Induktivität der entsprechenden Spule, C die Kapazität des Kondensators 25 und R den ohmschen Widerstand des Schwingkreises bezeichnen. Die Abklingzeit τ ist gegeben durch

$$\tau = \frac{2L}{R}.$$

Die Kapazität C des Kondensators 25, die Induktivität L und der Widerstand R sind beispielsweise so aufeinander abgestimmt, dass die Frequenz ω etwa 100 kHz und die Abklingzeit τ etwa 1 ms betragen.

Bei den beschriebenen Ausführungsbeispielen wurden als Sensoren zur Messung des externen Magnetfeldes horizontale Hallelemente 10 - 13 verwendet. Es ist aber auch möglich, anstelle der horizontalen Hallelemente 10 - 13 sogenannte vertikale Hallelemente zu verwenden, die empfindlich sind auf ein Magnetfeld, das parallel zu ihrer Oberfläche verläuft. Aus der Fig. 2 ergibt sich, dass die vertikalen Hallelemente nicht am äusseren Rand unterhalb des ferromagnetischen Kerns 4, sondern etwas ausserhalb des ferromagnetischen Kerns 4 angeordnet werden müssen, wo die Feldlinien annähernd waagrecht verlaufen. Des Weiteren können anstelle der Hallelemente auch magnetoresistive Sensoren oder Magnetotransistoren verwendet werden. Allerdings muss dann geprüft werden, ob die im ferromagnetischen Kern 4 erzeugte Magnetisierung auf einen solchen Sensor den gleichen Einfluss hat wie auf ein horizontales Hallelement.

PATENTANSPRÜCHE

1. Magnetfeldsensor für die Messung von wenigstens einer Komponente eines Magnetfeldes, mit einem auf einem Halbleiterchip (1) aufgebrachten ferromagnetischen Kern (4), der eine Ebene mit der wenigstens einen zu messenden Komponente des Magnetfeldes aufspannt und als Magnetfeldkonzentrator dient, wobei der ferromagnetische Kern (4) ringförmig oder scheibenförmig ist, und mit einem Auslesesensor (5), wobei der Auslesesensor (5) zwei in der Nähe des äusseren Randes des ferromagnetischen Kerns (4) angeordnete Sensoren umfasst und die wenigstens eine Komponente des Magnetfeldes misst, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Erregerspule (3; 21, 23) und eine elektronische Schaltung (9) für die temporäre Beaufschlagung der Erregerspule (3; 21, 23) mit einem Strom zur Erzeugung einer vorbestimmten Magnetisierung im ferromagnetischen Kern (4) oder zur Entmagnetisierung des ferromagnetischen Kerns (4) vorhanden sind.
2. Magnetfeldsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der ferromagnetische Kern (4) ringförmig ist und dass die Erregerspule (3) eine Flachspule umfasst, deren Windungen spiralförmig unterhalb des ferromagnetischen Kerns (4) verlaufen.
3. Magnetfeldsensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Erregerspule (3) mindestens eine zusätzliche Wicklung umfasst, die den Ring des ferromagnetischen Kerns (4) umschliesst.
4. Magnetfeldsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die den Auslesesensor (5) bildenden Sensoren Hallelemente (10, 12) sind.
5. Verfahren zum Betrieb eines Magnetfeldsensors für die Messung von wenigstens einer Komponente eines Magnetfeldes, wobei der Magnetfeldsensor einen auf einem Halbleiterchip (1) aufgebrachten ferromagnetischen Kern (4), der eine Ebene mit der wenigstens einen zu messenden Komponente des Magnetfeldes aufspannt und als Magnetfeldkonzentrator dient, wobei der ferromagnetische Kern (4) ringförmig oder scheibenförmig ist, sowie einen Auslesesensor (5) umfasst, wobei der Auslesesensor (5) zwei in der Nähe des äusseren Randes des ferromagnetischen Kerns (4) angeordnete Sensoren umfasst und die wenigstens eine Komponente des Magnetfeldes misst, dadurch gekennzeichnet, dass der ferromagnetische Kern (4) durch temporäre Beaufschlagung einer Erregerspule (3) mit einem Strom zu gewissen Zeitpunkten in einen Zustand vorbestimmter Magnetisierung gebracht wird, wobei die vorbestimmte Magnetisierung im Auslesesensor (5) kein Signal erzeugt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Erregerspule (3) mit einem Wechselstrom mit abklingender Amplitude beaufschlagt wird, um den ferromagnetischen Kern (4) zu entmagnetisieren.
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Erregerspule (3) mit einem

Gleichstrompuls beaufschlagt wird, um den ferromagnetischen Kern (4) zu magnetisieren.

ZUSAMMENFASSUNG

Ein Magnetfeldsensor für die Messung von wenigstens einer Komponente eines Magnetfeldes umfasst einen ferromagnetischen Kern (4), der als Magnetfeldkonzentrator dient, eine Erregerspule (3) und einen Auslesesensor (5). Der Auslesesensor (5) umfasst zwei in der Nähe des äusseren Randes des ferromagnetischen Kerns (4) angeordnete Sensoren und misst die wenigstens eine Komponente des Magnetfeldes. Der ferromagnetische Kern (4) ist ringförmig oder scheibenförmig. Beim Betrieb des Magnetfeldsensors wird die Erregerspule (3; 21, 23) temporär mit einem Strom beaufschlagt, um den ferromagnetischen Kern (4) in einen Zustand vorbestimmter Magnetisierung zu bringen, in dem die Magnetisierung des ferromagnetischen Kerns (4) im Auslesesensor kein Signal erzeugt.

Fig. 1

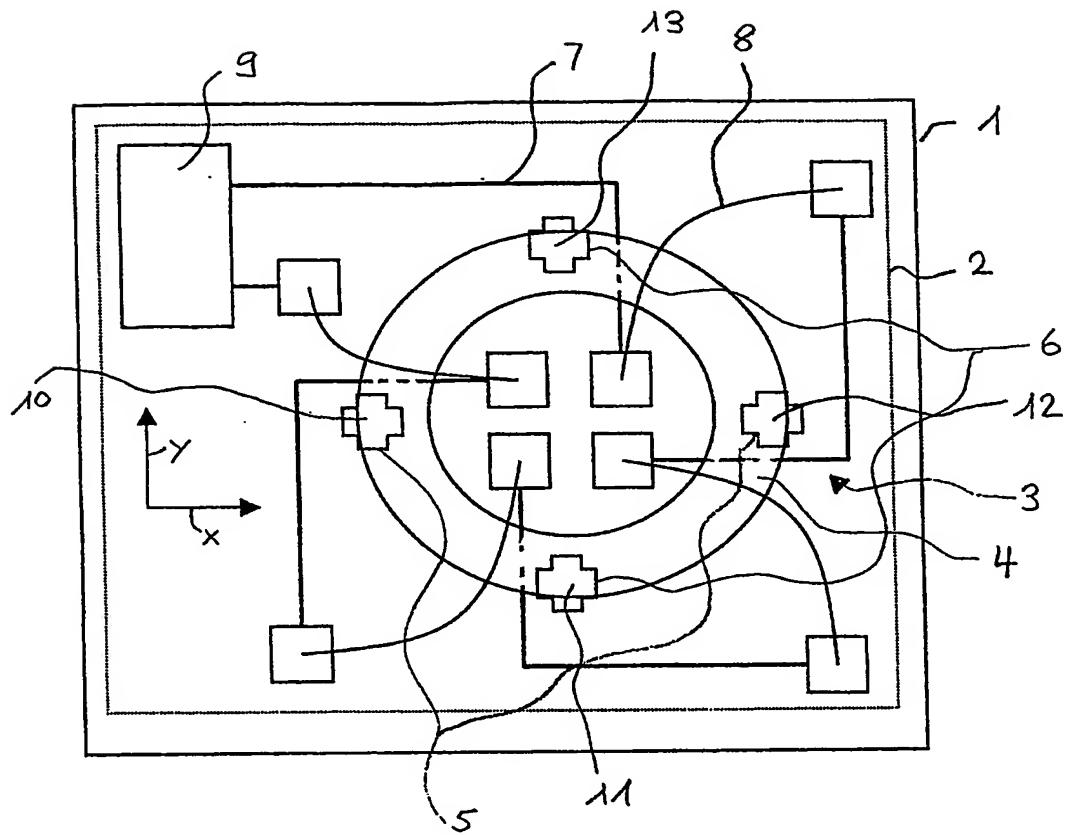


Fig. 2

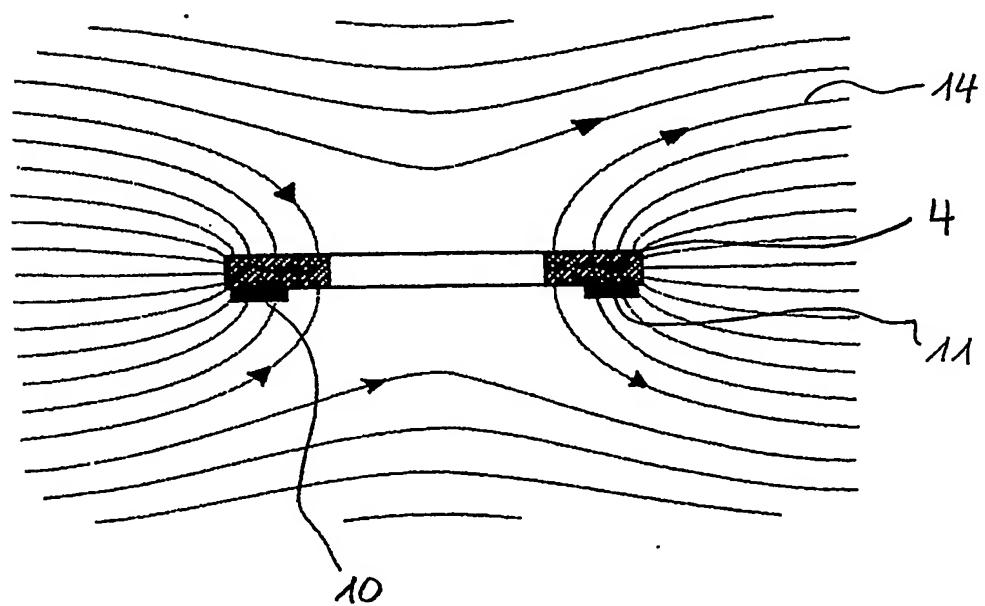


Fig. 3

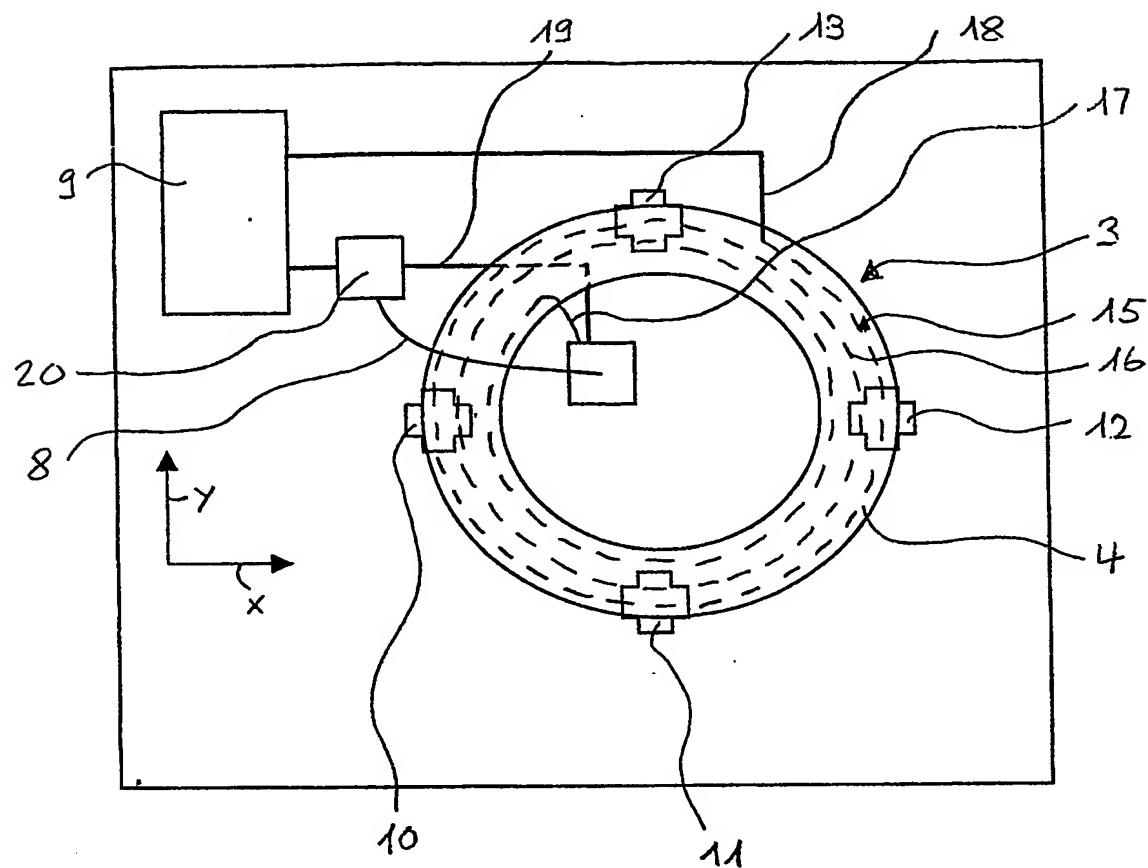


Fig. 4

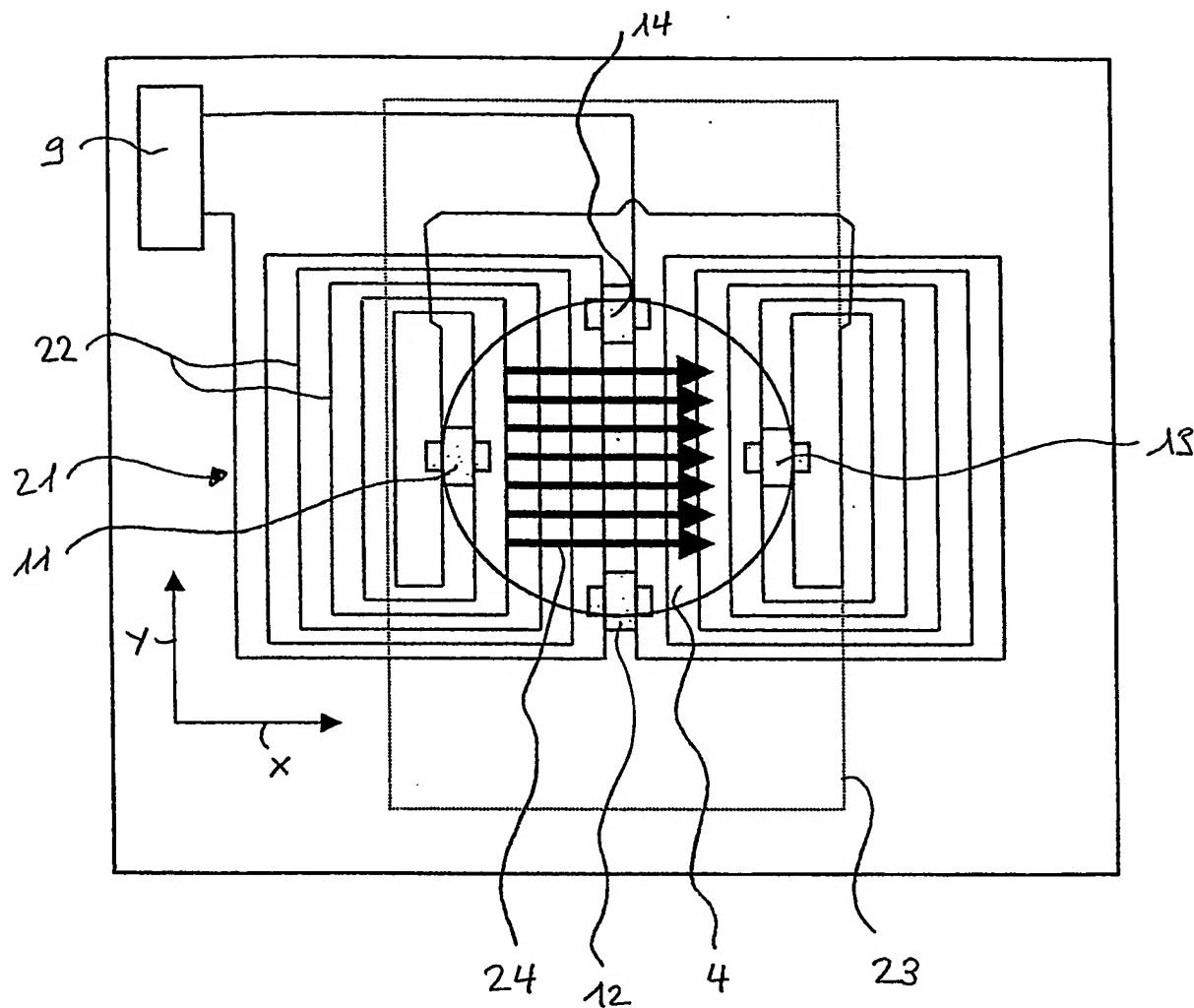


Fig. 5

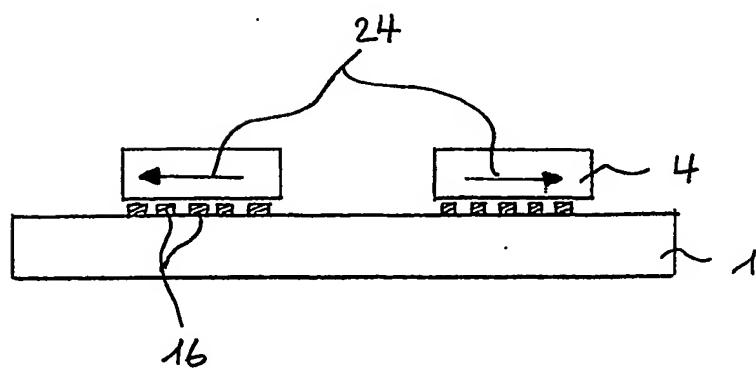


Fig. 6

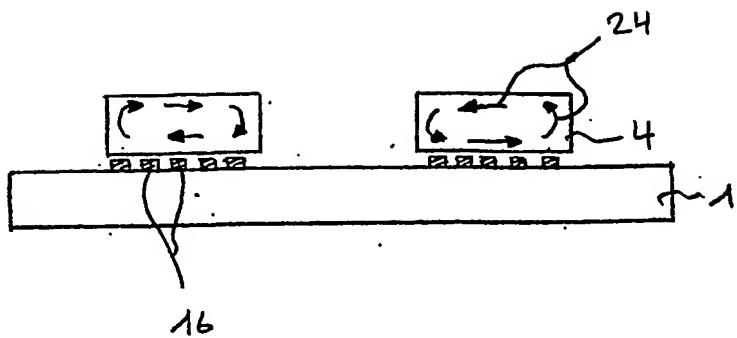


Fig. 7

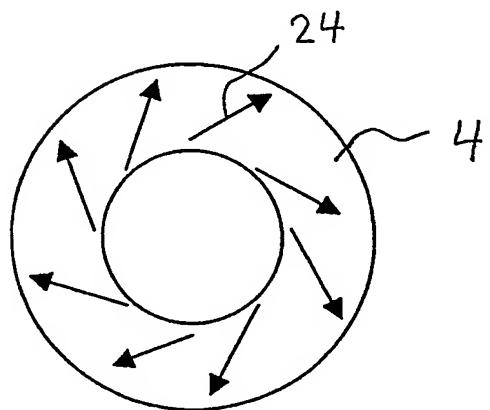


Fig. 8

